

A Prospect of the Superconductivity Research for the Industrial Application

초전도 산업응용기술의 연구동향 및 발전방향

Young-Kil Kwon

권영길

28-1, Sung-ju, Chang-won, Kyong-nam 641-120,
 Korea Electrotechnology Research Institute

경상남도 창원시 성주동 28-1 한국전기연구소

This paper is to present the general descriptions and their research trend of MRI/NMR which has already commercialized and also is more successful than any other applications of superconducting magnet, Superconducting Single Crystal Growing Equipment and Superconducting Magnetic Separation technology which are practically used in the related areas, and power electric application machine, which is the most effective and efficient one among the applications using high magnetic field. Therefore, it is hoped that this study will help to establish the ground of the industrial application of superconductivity in Korea.

1. 머리말

산업기술의 발달과 더불어 기존 기술로는 기술적 한계에 부딪치거나, 새로운 수요에 대한 신기능을 갖는 산업기기의 개발·보급이 불가피해짐에 따라 초전도기술을 응용한 각종 산업기기의 개발연구가 전세계적으로 활발히 진행되고 있다. 그림 1은 초전도기술의 응용분야를 초전도특성에 따라 분류하여 도식화한 것으로 산업 전 분야에 걸쳐 응용되고 있음을 볼 수 있으며 크게 전기저항제로특성과 초전도코일에 의한 강자장 발생, 미소자장과의 상호작용 등을 이용한 세 부분으로 나뉜다.

현재 미국, 일본 등에서는 세계적으로 문제가 되고 있는 화석에너지의 과다한 사용으로 인한 지구온난화문제의 대표적인 해결책으로서 각종 산업기기에 초전도기술을 응용함으로써 획기적인 효율향상으로 인한 에너지사용량의 대폭적인 절감하는 것을 목표로 하고 있으며, 이를 통한 막

대한 세계시장을 선점하는 것을 국가적 정책으로 상정하고 강력하게 추진하고 있다.

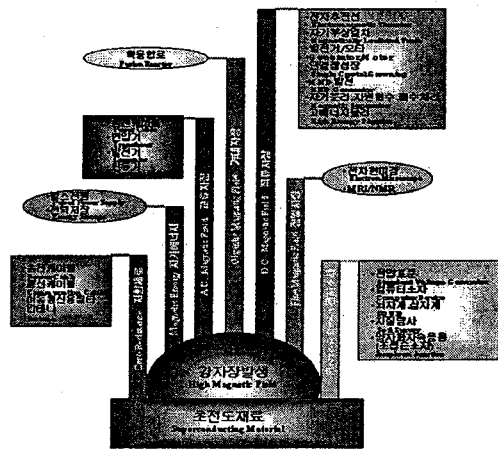


그림 1. 초전도 응용분야의 분류

이와 같은 선진국에서의 활발한 연구동향과는

달리 국내에서는 많은 연구비와 연구인력을 필요로 하는 초전도응용기술의 개발이 매우 미흡하여, 초전도연구역사가 매우 일천한 우리나라에서 초전도 산업응용기술의 개발이 선진국에 비하여 더욱 뒤떨어져있는 실정이다.

이와 같은 측면에서 본고에서는 초전도마그네트를 이용한 여러 가지 초전도응용분야 중 오늘날 상용화에 성공한 MRI/NMR과 부분적으로 실용화가 되어있는 초전도 단결정 성장장치, 초전도 자기분리기술 등과 초전도기술의 응용 중 가장 대표적이고 파급효과가 지대한 전력응용기기를 중심으로 간략한 기술개요와 연구동향을 소개하여, 국내에서도 초전도 산업응용기술을 본격적으로 개발할 수 있는 저변을 구축하는데 조금이라도 보탬이 되고자한다.

2. 기기별 개발현황

2-1. MRI

현재 MRI용 초전도마그네트를 생산하는 회사는 영국의 Oxford, GE, 일본의 도시바 등이 대표적이라 할 수 있으며 우리나라도 한국전기연구소가 중심이 되어 1995년 말부터 보건복지부의 지원을 받아 2001년까지 MRI용 초전도마그네트의 상용화를 위한 본격적인 연구개발 진행 중에 있다. 그림 2는 현재 한국전기연구소에서 제작이 완료된 1.5 Tesla급 전신촬영용 초전도마그네트로 상온 보야로 800mm ϕ , 중심 자속밀도는 1.5 Tesla, 자장 균등도는 2.5 ppm/30cm DSV이다.

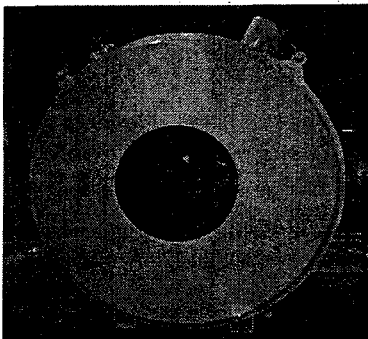


그림 2. 전기연구소에서 개발한 MRI 초전도 마그네트

앞으로 MRI기술은 환자의 상태를 화면으로 보

면서 수술할 수 있는 개방형 MRI나 4 Tesla이상의 보다 강력한 자장을 발생시켜 다양한 핵종의 촬영과 S/N비의 대폭적인 증가로 뇌의 기능을 해명할 수 있는 functional MRS 등과 같은 새로운 기능을 갖는 MRI개발이 주축을 이룰 것으로 보인다.

2-2. 초전도 단결정 성장 장치

최근 세계적인 반도체 생산회사들은 반도체소자의 품질향상과 생산원가절감을 위해 현재의 4, 6, 8인치 웨이퍼에서 12인치 웨이퍼를 필요로 하고 있으며, 특히 1G DRAM의 대용량에서는 대구경의 웨이퍼가 필수적이고, 반도체 웨이퍼 회사들도 12인치 웨이퍼의 제조를 위해 넓은 공간에서 필요한 자장을 안정적이고 경제적으로 발생시킬 수 있는 초전도 자석을 이용한 단결정 성장장치의 개발과 자장 중에서 대구경의 단결정을 성장시키는 기술개발을 서두르고 있다. 그림 3은 초전도 단결정 성장장치를 도식화한 것으로 기존의 상전도방식에 비하여 거의 전력을 사용하지 않으므로 운영경비를 1/10정도로 절감할 수 있어, 일본에서는 도시바, 미쯔비시 등이, 미국에서는 Kayex등에서 평자장 발생 방식의 마그네트를 상용화하여 반도체 웨이퍼 제조공장에 설치·운영 중에 있다.

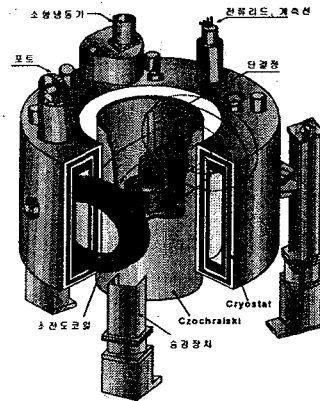


그림 3. 단결정 성장장치

2-3. 초전도 자기분리 장치

초전도자기분리기술을 이용하면 오염수 중의 유해물질(SS, 중금속, 유기물질) 및 유용 물질을 초고속으로 분리시켜 금속성분은 재생용으로 처리 할 수가 있고 폐수중의 오염물질 농도 및 COD, BOD 수치를 대폭적으로 저감시킬 수가 있다. 또한 초전도자석의 자장을

전기적으로 제거하면 자기필터와 오염물질사이의 흡착력이 사라지기 때문에 필터를 재생하여 사용할 수 있다. 초전도 자석을 사용함으로써 종래의 자기분리기술로는 불가능하였던 상자성의 극세 미립자도 분리할 수 있어서 기술의 응용범위가 더욱 넓어졌다.

미국, 일본 등에서는 Kaolin 정제산업 등에 사용되어 오고있는 전자석 또는 영구자석을 사용하는 자기분리장치를 초전도 방식으로 대체하는 분야와 최근에 더욱 심각해지고 있는 환경오염문제를 직접적으로 해결할 수 있는 전략기술로서 각종 응용분야 및 기술개발을 활발히 추진하고 있다. 그림 4는 미국의 CRYOMAGNETICS사에서 개발한 시험용 PLANT 및 초전도 마그네트이다.

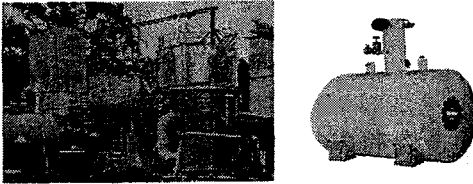


그림 4. 초전도 자기분리 장치

2-4. 초전도 전력기기

2.4.1. 초전도 전력케이블

그림 5는 초전도 송전 시스템을 나타낸 것으로 케이블의 구조는 일반 케이블과 비교하여 기본적으로 거의 비슷하나 도체의 재료와 냉매가 다르고 극저온을 유지하기 위한 별도의 구조와 냉각 계통이 필요한 게 가장 다른 특징이다

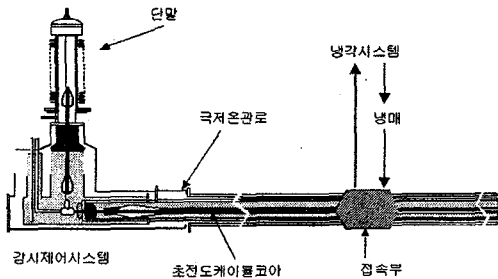


그림 5. 초전도 송전시스템의 구성도

고온초전도선을 사용한 케이블은 냉각비용이 저렴하므로 루트당 1~2 GVA정도에서도 경제성이 있는 것으로 나타나 초전도케이블을 적용할 수 있는 범위가 보다 넓어져 1990년대 중반부터

미국, 일본, 프랑스를 비롯한 세계 각국에서는 고온초전도체를 이용한 전력케이블개발을 위한 연구가 진행되고 있다. 실제로 미국은 1996년 Pirelli Cable이 DOE의 지원을 받아 EPRI 및 ASC사와 공동으로 직류 3000 A급 50 m BSCCO 전력케이블을 개발한 바 있으며 일본도 1996년 동경전력이 Sumitomo전기, Furukawa전기 등과 공동으로 66 kV, 0.25~1 GVA급 3상 동축케이블을 개발한 바 있다. 이외의 나라에서도 영국은 BICC Cable사 독일은 Siemens AG, 덴마크는 NKT 연구센터, 스위스는 EPRI-CRPP 등이 중심이 되어 활발히 연구하고 있다. 우리나라도 한국전기연구소가 중심이 되어 1994년부터 1997년까지의 Nb₃Sn 금속계 테이프를 이용한 초전도케이블 연구에 이어 금년부터 BSCCO테이프선재를 이용한 전력케이블의 타당성검토를 완료하고 현재 2005년까지 154 kV, 1 GVA급 100m 3상 케이블 개발을 목표로 케이블 개념설계 및 요소기술을 개발중이다.

2.4.2. 초전도 에너지저장

SMES는 전기를 직접적으로 저장하는 유일한 장치로서 충·방전 속도가 대단히 빠를 뿐만 아니라 저장효율이 약 95%로 대단히 높고 유효전력과 무효전력을 동시에 제어할 수 있고 반영구적이라는 장점 때문에 장거리송전선, 변전소, 분산형 에너지 도입장소 등에서 안정도 향상 및 변동부하 보상, 부하 레벨링 등을 목적으로 한 소·중·대규모 SMES의 응용이 제안되고 있다. 현재 일본에서는 ISTEC이 NEDO의 지원하에 부하평준화를 목적으로 한 1 단계연구에서 0.1 MWh급 소규모 SMES 요소기술개발연구를 진행 중에 있으며 미국에서는 초전도를 전문으로 한 기업을 중심으로 정보·통신분야나 반도체, 제철소, 공군기지 등에서 순간정전이나, 순시전압강하 또는 Flicker, Voltage Sag & Swell 등과 같은 저품질의 전력으로부터 정밀부하를 보호하기 위한 장치로 저장에너지가 1~5 MJ, 정격출력은 0.5~1 MVA 정도인 소형 Micro.SMES를 개발하여 상용화한 바가 있다.

우리나라에서도 1995년 기초전력공학공동연구소에서 전력계통안정화용으로 0.5 MJ급 SMES를 개발하여 에너지 수수시험을 성공적으로 마친 경험을 바탕으로 한국전기연구소에서 SMES의 상용

화를 목표로 UPS용 1 MJ급 Micro SMES개발연구를 수행하고 있으며, 그림 6은 1998년 한국전기연구소에서 개발된 UPS용 0.7 MJ급 SMES 모델코일로서 운전전류는 1,555 A, 전력변환기의 출력은 100 kVA이다

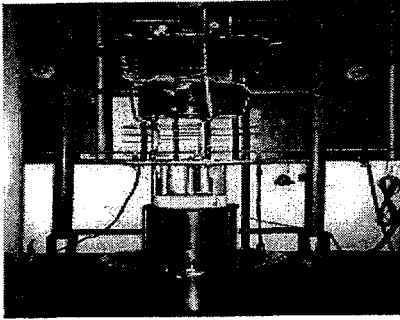


그림 6. 전기연구소에서 개발한 0.7MJ급 SMES 코일

2.4.3. 초전도발전기

초전도발전기의 원리는 기본적으로 기존발전기와 같으나 회전자나 고정자의 Cu도체대신에 초전도도체를 사용함으로써 복잡한 냉각계가 필요하다는 것이 크게 다른 점으로 다음에서와 같이 기존발전기에서는 얻을 수 없는 여러 가지 이점을 얻게 된다.

현재 초전도 발전기분야에서는 세계적 선두주자로 자부하고 있고 또한 가까운 장래에 초전도발전기의 실용화를 위한 모든 기술적 문제를 해결하여 실 계통으로의 도입을 확신하고 있는 일본이 중심이 되어 러시아, 인도, 우리나라 등이 지속적인 연구를 수행하고 있다. 특히 일본은 가까운 장래에 초전도발전기가 전압유지능력의 향상을 위한 200~300 MW급의 도시근교 Combined cycle기나 계통안정도 향상을 위한 600 MW급 이상의 원격지 대용량기로의 적용될 것으로 보고 통상성의 New Sunshine계획의 일환으로 Super-GM에서 200 MW급 초전도발전기 개발을 목표로 연구수행 중에 있으며, 현재 그 1/3용량수준인 70 MW급 모델기를 제작하여 관서전력 오사카발전소에서 2000시간 장기실증 계통연계 운전시험을 성공함으로써 21세기초에는 실용화될 수 있을 것으로 기대하고 있다.

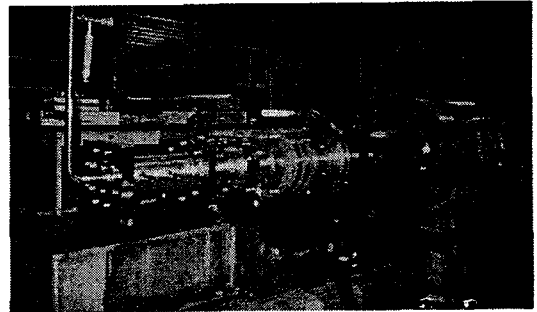


그림 7. 한국전기연구소에서 개발한 30kVA 초전도 발전기 외형

우리나라는 다른 나라에 비해 연구출발시기가 상당히 뒤쳐졌지만 서울대학교를 중심으로 한 기초전력공학공동연구소에서 1991년부터 1994년까지 20 kVA 초전도발전기개발 연구를 한 바 있으며, 이 기술을 기반으로 1996년 말부터 한국전기연구소는 과학기술기부의 Star project의 일환으로 고효율 발전이 가능한 초전도발전기를 중심으로 감시제어 및 운영시스템으로 구성된 차세대 고효율 발전시스템 개발 연구를 수행하고 있다.

3. 결론

세계적으로 볼 때 초전도기술을 산업적으로 응용하려는 연구는 어느덧 30년이란 세월이 흘렀고, 실용화를 위한 많은 문제점들을 해결하여 21세기에는 모던 산업분야에 걸쳐 본격적인 상용화가 이루어질 것으로 예상하고 있다. 특히 과도한 화석연료의 사용으로 지구온난화문제를 해결하기 위하여 지금까지의 경제성 논리를 상위하는 개념으로 각종 산업기기의 고효율화를 추구하지 않을 수 없어 초전도산업응용기술의 본격적인 도입의 필요성이 더욱 제기되고 있고, 이와 같은 추세에 부응하여 2020년경에는 세계은행의 자료에 의하면 2440억불정도의 초전도시장이 형성될 것으로 예측되고 있다. 따라서 이와 같은 세계적인 초전도기술응용기술의 개발의 불가피성과 새로운 세계시장에 성공적으로 진출하기 위해서는 우리나라에서도 국가적인 연구개발전략을 수립하여 체계적이고, 효율적인 초전도산업응용기술의 개발이 절실히 요구되는 시점이다.